

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU ⁽¹¹⁾ 2 613 157 ⁽¹³⁾ C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК

[G21C 19/42 \(2006.01\)](#)[C01G 43/06 \(2006.01\)](#)[B01D 59/20 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:
19.11.2018)

(21)(22) Заявка: [2016100844](#), 12.01.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.01.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.01.2016

(45) Опубликовано: [15.03.2017](#) Бюл. № 8

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2377674 C1, 27.12.2009. RU
2110856 C1, 10.05.1998. RU 2321544 C2,
10.04.2008. US 4708709 A, 24.11.1987. DE
2857721 A1, 29.09.1983.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, Центр интеллектуальной
собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Палкин Валерий Анатольевич (RU),
Глухов Николай Петрович (RU),
Маслюков Евгений Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

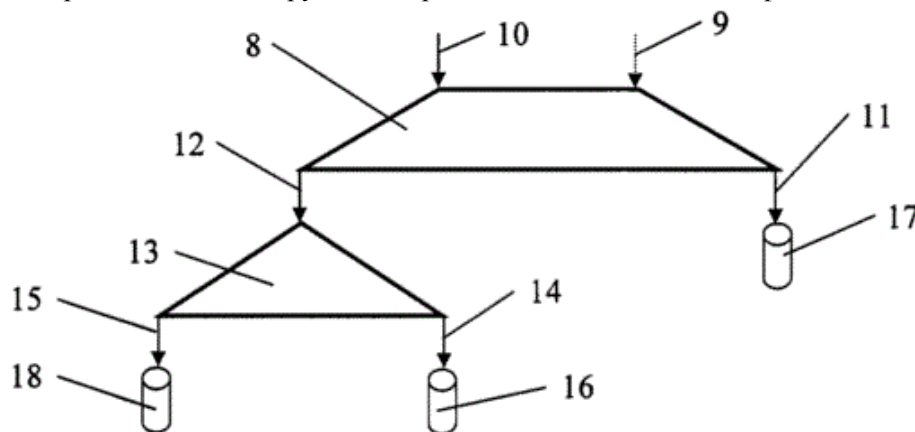
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(54) СПОСОБ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам очистки загрязненного вредными изотопами сырья для использования его в дальнейшем для получения восстановленного урана для ядерного топлива. Способ очистки загрязненного сырья для разделительного производства от вредных изотопов заключается в снижении концентрации изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U путем переработки гексафторида урана загрязненного сырья в двойном каскаде газовых центрифуг. Гексафторид урана загрязненного сырья перерабатывают в двойном каскаде газовых центрифуг, предназначенных для получения низкообогащенного гексафторида ^{235}U из чистого гексафторида урана, подаваемого на основное питание первого каскада, загрязненное сырье подают на дополнительное питание первого каскада. Очищенное сырье отбирают из первого или второго каскада. Изобретение позволяет получить качественное сырье с допустимым

содержанием лимитирующих вредных изотопов. 5 з.п. ф-лы, 5 ил., 8 табл., 4 пр.



Фиг.2

Изобретение относится к ядерному топливному циклу и может быть использовано при производстве топлива ядерных реакторов, а именно при получении низкообогащенного урана (НОУ) для топлива атомных станций. Более конкретно, изобретение относится к переработке в процессе производства НОУ загрязненного сырья, например загрязненного природного урана, регенерированного урана или ранее образовавшихся отвалов, загрязненных по тем или иным причинам вредными изотопами урана, с целью очистки таких отвалов от вредных изотопов и расширения сырьевой базы разделительного производства.

Ядерное топливо для АЭС производят путем обогащения гексафторида урана на разделительных каскадах обогатительных заводов. Современные обогатительные заводы используют для обогащения урана каскады газовых центрифуг. Под термином «каскад» здесь и далее авторы подразумевают внешнюю схему построения взаимосвязанных разделительных элементов (одну центрифугу или группу газовых центрифуг, в свою очередь, объединенных в каскадные схемы), в которую подается обрабатываемое сырье (питание) и из которой выводятся получаемые продукты (отбор). Каскады промышленных разделительных заводов имеют различные схемы построения взаимосвязей разделительных элементов в зависимости от решаемых производственных задач, экономической целесообразности и функциональных возможностей используемых разделительных элементов. В качестве питания на каскад может поступать гексафторид, содержащий природный уран с концентрацией ^{235}U 0,711%, или обедненный уран - отвалый продукт разделительного процесса с концентрацией ^{235}U 0,1÷0,4%, или слегка обогащенный (а возможно, и обедненный) уран - регенерат облученного урана, прошедшего переработку и очистку на радиохимическом заводе. Каскады разделительного завода могут иметь несколько точек питания для подачи гексафторида урана с различной концентрацией ^{235}U и несколько точек для отбора продукта с различной степенью обогащения по ^{235}U [Синев Н.М. Экономика ядерной энергетики: Основы технологии и экономики производства ядерного топлива. Экономика АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1987]. Под термином «концентрация» здесь и далее авторы подразумевают массовую долю того или иного изотопа урана именно в смеси изотопов урана.

Использование обогащенного урана в ядерной энергетике с реакторами на тепловых нейтронах сопровождается непрерывным процессом накопления запасов обедненного урана с содержанием 0,1÷0,5%, которые одновременно являются бедным исходным сырьем (по сравнению с природным ураном) для процесса восстановления природного урана или получения НОУ. Однако часть полученных в различных производственных процессах отвалов или природного сырья может быть загрязнена вредными изотопами ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U , что приводит при их использовании к повышению содержания вредных изотопов в получаемом из такого сырья НОУ.

Повышение концентрации вредного изотопа ^{232}U приводит к затруднениям при дальнейшем изготовлении ядерного топлива (порошка, таблеток, твэлов) из-за мощного и вредного излучения продуктов его распада. Повышение концентрации вредного изотопа ^{234}U приводит к затруднениям при дальнейшем изготовлении ядерного топлива (порошка, таблеток, твэлов) из-за загрязнения воздуха в рабочем помещении поверхностей рабочего помещения вредными альфа-частицами.

Повышение концентрации вредного изотопа ^{236}U приводит к повышению

паразитного захвата нейтронов в ядерном реакторе и, в свою очередь, требует повышения концентрации делящегося изотопа ^{235}U , что ухудшает экономические показатели ядерного реактора.

Независимо от способа получения НОУ его технические характеристики по вредным изотопам ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U должны соответствовать требованиям стандартной спецификации ASTM C996-10 [Стандартные технические условия на гексафторид урана с обогащением менее 5% по изотопу ^{235}U , ASTM C996-10], что создает дополнительные трудности и затраты при использовании загрязненного сырья в процессе получения ядерного топлива.

Настоящее изобретение относится к способам очистки загрязненного вредными изотопами сырья для использования его в дальнейшем для получения восстановленного природного урана или НОУ для ядерного топлива АЭС.

Известен способ очистки загрязненного сырья, используемый в процессе получения гексафторида низкообогащенного урана из оружейного высокообогащенного урана [патент RU №2225362, C01G 43/06, 2001.06.13], в котором содержание минорных (вредных) изотопов в высокообогащенном уране уменьшают в каскаде газовых центрифуг одновременно с очисткой высокообогащенного урана от химических примесей. Параметры каскада газовых центрифуг, необходимые для уменьшения содержания вредных изотопов в ВОУ, определяют по известным методикам расчетов процессов разделения многокомпонентных изотопных смесей.

Недостатки этого способа, кроме необходимости уменьшения содержания вредных изотопов в ВОУ на отдельном каскаде газовых центрифуг, связаны с необходимостью предотвращения самопроизвольной ядерной реакции гексафторида ВОУ в каскаде газовых центрифуг, а также с концентрированием в отборе этого каскада большого количества радиоактивного изотопа ^{234}U , что требует разработки специальных мер радиационной безопасности и затрудняет дальнейшую переработку и хранение полученного продукта.

Известен способ очистки загрязненного сырья, используемый в процессе для изотопного восстановления регенерированного урана (патент RU №2236053, G21C 19/42, B01D 59/20, 2002.11.04), заключающийся в повышении содержания изотопа ^{235}U в регенерированном уране до $2,0 \div 7,0$ мас. % при снижении абсолютной и относительной концентрации изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U , в котором используют прямое обогащение сырьевого уранового регенерата в изотопно-разделительном газоцентрифужном каскаде и разбавление гексафторида регенерированного урана гексафторидом урана природного происхождения. При этом сырьевой урановый регенерат обогащают изотопом ^{235}U до $10,0 \div 90,0$ мас. %, после чего разбавляют ураном природного происхождения до массы, не превышающей массу сырьевого уранового регенерата.

Использование в процессе высоких степеней обогащения накладывает дополнительные трудности на осуществление технологии, а применение разбавления приводит к потерям работы разделения и эффективности процесса.

Известен способ очистки загрязненного сырья, используемый в процессе для изотопного восстановления регенерированного урана (патент RU №2242812, G21C 19/42, B01D 59/20, 2002.12.17), в котором сырьевой урановый регенерат обогащают до ВОУ, повышая содержание изотопа ^{235}U до уровня $21,0 \div 90,0\%$ в двойном газоцентрифужном каскаде, и снижают концентрацию изотопа ^{235}U разбавителем до уровня $2,0 \div 7,0\%$, получая НОУ для топливного материала ядерных реакторов. Нарботку разбавителя, например, из гексафторида урана природного происхождения выполняют параллельно в ординарном газоцентрифужном каскаде, подавая на питание гексафторид урана с концентрацией изотопа ^{235}U $0,711\%$ и получая на выходе поток отбора, содержащий $2,0 \div 5,0\%$ ^{235}U , и поток отвала, содержащий $0,1 \div 0,3\%$ ^{235}U .

Недостатком способа являются: использование высоких степеней обогащения, дополнительные затраты работы разделения на получение разбавителя с требуемым содержанием ^{235}U и изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U , а также потери при смешении. Кроме того, если концентрации вредных изотопов имеют в регенерате повышенный уровень, то снизить их содержание до требуемого уровня не удастся.

Наиболее близким к изобретению является способ очистки загрязненного уранового сырья в газоцентрифужном каскаде (патент RU №2377674, G21C 19/42, C01G 43/06, B01D 59/20, 2008.10.06), в котором очищаемый продукт подается на одно из двух питаний каскада и отбирается со снижением концентрации ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U в

промежуточном отборе. Для этого на второе питание каскада поступает гексафторид природного урана с содержанием ^{235}U 0,711% и ^{234}U меньше 0,0058% (верхний предел по ASTM C 787-11), из которого в конечном отборе получают товарный продукт низкообогащенного урана. Способ характеризуется практическим отсутствием затрат работы разделения на очистку и возможностью повышения концентрации ^{235}U в очищенном продукте до $0,711 \div 1,5\%$.

Недостатком способа являются загрязнение гексафторида низкообогащенного урана, получаемого в конечном отборе каскада, и необходимость промежуточного отбора, организация которого на практике связана с большими техническими трудностями, а порой и просто невозможна на действующем газоцентрифужном заводе.

Настоящее изобретение направлено на решение задачи снижения затрат на наработку очищенного сырья с требуемым качеством по содержанию вредных изотопов урана без использования промежуточных отборов каскадов.

Технический результат, достигаемый при осуществлении способа, заключается в получении качественного сырья с допустимым содержанием лимитирующих вредных изотопов и, тем самым, в расширении сырьевой базы разделительных производств при отсутствии затрат работы разделения для его наработки.

Поставленная задача решается благодаря тому, что в способе очистки загрязненного сырья для разделительного производства от вредных изотопов, заключающемся в снижении концентрации изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U путем переработки гексафторида урана загрязненного сырья в двойном каскаде газовых центрифуг, гексафторид урана загрязненного сырья перерабатывают в двойном каскаде газовых центрифуг, предназначенном для получения низкообогащенного гексафторида ^{235}U из чистого гексафторида урана, подаваемого на основное питание первого каскада, загрязненное сырье подают на дополнительное питание первого каскада, а очищенное сырье отбирают из второго каскада.

Дополнительно, в способе низкообогащенный гексафторид ^{235}U получают в первом каскаде.

Кроме того, в способе низкообогащенный гексафторид ^{235}U получают во втором каскаде.

Кроме того, в способе чистый гексафторид урана подают на дополнительное питание второго каскада.

Дополнительно, в способе питание второго каскада выполняют после десублимации отвала первого каскада.

Кроме того, в способе питание второго каскада выполняют после десублимации отбора первого каскада.

Дополнительно, в способе в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид природного урана.

Кроме того, в способе в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид урана отвала разделительного производства, полученный при обогащении природного урана.

Дополнительно, в способе в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид урана, полученный обогащением отвалов разделительного производства, полученных при обогащении природного урана.

Сущность изобретения поясняется рисунками, на которых:

На фиг. 1 показана схема известного ординарного изотопно-разделительного газоцентрифужного каскада для получения НОУ.

На фиг. 2 показана схема двойного изотопно-разделительного газоцентрифужного каскада для получения НОУ в отборе первого каскада.

На фиг. 3 показана схема двойного изотопно-разделительного газоцентрифужного каскада для получения НОУ в отборе второго каскада.

На фиг. 4 показана схема последовательной работы двойного изотопно-разделительного газоцентрифужного каскада для получения НОУ в отборе первого каскада.

На фиг. 5 показана схема последовательной работы двойного изотопно-разделительного газоцентрифужного каскада для получения НОУ в отборе второго каскада.

В известном способе получения НОУ по схеме, показанной на фиг. 1, в ординарном каскаде 1 на его вход подается поток 2 питания сырья, например, из гексафторида природного урана. На вход каскада может подаваться поток 5 дополнительного питания. В результате взаимодействия соединенных между собой внутри каскада разделительных элементов (в виде центрифуг или групп газовых центрифуг)

подаваемый на вход каскада 1 поток питания 2 разделяется на выходе из каскада 1 на более обогащенный нужным изотопом поток отбора 3 и на обедненный нужным изотопом поток отвала 4 гексафторида урана. Полученный из потока 3 в отборе каскада 1, настроенного на обогащение изотопом ^{235}U до заданной концентрации в диапазоне $2\div 5\%$, НОУ десублимируют, затаривают в контейнер 6 и отправляют заказчику для изготовления ядерного топлива. Поток 4 отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,3\%$ десублимируют, затаривают в контейнер 7 и направляют на хранение.

В заявленном способе очистки в двойном каскаде по схеме, показанной на фиг. 2, на вход первого каскада 8 подается поток 9 питания, например, в виде переведенного в газовую фазу гексафторида природного урана с концентрацией ^{235}U , равной $0,711\%$, и поток 10 гексафторида урана загрязненного отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,4\%$. На выходе первого каскада 8 получают два потока: поток 11 отбора НОУ, аналогичный потоку 3 известного каскада 1, и поток 12 промежуточного отвала каскада 8, который подается на вход второго каскада 13. В отборе каскада 13 получают поток 14, очищенный от вредных изотопов урана, и поток отвала 15, аналогичный потоку 4 известного каскада 1. Полученный в потоке 14 очищенный отвал с концентрацией ^{235}U , аналогичной концентрации ^{235}U в потоке 10 питания каскада 8, десублимируют и затаривают в контейнер 16 для последующего использования в качестве очищенного сырья в наработке НОУ и переработке БОУ. Полученный из потока 11 в основном отборе каскада 8, настроенного на обогащение ^{235}U до заданной концентрации в диапазоне $2\div 5\%$, НОУ десублимируют, затаривают в контейнер 17 и отправляют заказчику для изготовления ядерного топлива. Поток 15 отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,3\%$ десублимируют, затаривают в контейнер 18 и направляют на хранение.

В варианте заявленного способа очистки в двойном каскаде по схеме, показанной на фиг. 3, на вход первого каскада 19 подается поток 20 питания, например, в виде переведенного в газовую фазу гексафторида природного урана с концентрацией ^{235}U , равной $0,711\%$, и поток 21 гексафторида урана загрязненного отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,4\%$. На выходе первого каскада 19 получают два потока: поток 22 отвала, аналогичный потоку 4 известного каскада 1, и поток 23 промежуточного отбора каскада 19, который подается на вход второго каскада 24. На выходе каскада 24 получают поток отвала 25, очищенный от вредных изотопов урана, и поток отбора 26 НОУ, аналогичный потоку 3 известного каскада 1. Полученный в потоке 25 очищенный отвал с концентрацией ^{235}U , аналогичной концентрации ^{235}U в потоке 21 питания каскада 19, десублимируют и затаривают в контейнер 27 для последующего использования в качестве очищенного сырья в наработке НОУ и переработке БОУ. Полученный из потока 26 в основном отборе каскада 24, настроенного на обогащение ^{235}U до заданной концентрации в диапазоне $2\div 5\%$, НОУ десублимируют, затаривают в контейнер 28 и отправляют заказчику для изготовления ядерного топлива. Поток 22 отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,3\%$ десублимируют, затаривают в контейнер 29 и направляют на хранение. При использовании данной схемы на дополнительное питание второго каскада 24 может подаваться поток чистого гексафторида урана (этот поток на фиг. 3 обозначен пунктирной стрелкой).

В варианте осуществления заявленного способа очистки в двойном каскаде по схеме, показанной на фиг. 4, на вход первого каскада 8 подается поток 9 питания, например, в виде переведенного в газовую фазу гексафторида природного урана с концентрацией ^{235}U , равной $0,711\%$, и поток 10 гексафторида урана загрязненного отвала с концентрацией ^{235}U $0,1\div 0,4\%$. На выходе первого каскада 8 получают два потока: поток 11 отбора НОУ, аналогичный потоку 3 известного каскада 1, и поток 12 промежуточного (межкаскадного) отвала каскада 8. Полученный из потока 11 в основном отборе каскада 8, настроенного на обогащение ^{235}U до заданной концентрации в диапазоне $2\div 5\%$, НОУ десублимируют, затаривают в контейнер 17 и отправляют заказчику для изготовления ядерного топлива. Поток промежуточного (межкаскадного) отвала 12 десублимируют и затаривают в контейнер 30. После завершения работы первого каскада 8 из него формируют второй каскад 13 с соответствующими параметрами. Затем контейнер 30 подключают к входу второго каскада 13 и в виде потока 31 из переведенного в газовую фазу гексафторида урана промежуточного отвала, ранее полученного в первом каскаде 8, подают в каскад 13. В отборе каскада 13 получают поток 14, очищенный от вредных изотопов урана, и поток отвала 15, аналогичный потоку 4 известного каскада 1. Полученный в потоке 14 очищенный отвал с концентрацией ^{235}U , аналогичной концентрации ^{235}U в потоке 10

питания каскада 8, десублимируют и затаривают в контейнер 16 для последующего использования в качестве очищенного сырья в наработке НОУ и переработке ВОУ.

Поток 15 отвала с концентрацией ^{235}U $0,1 \div 0,3\%$ десублимируют, затаривают в контейнер 18 и направляют на хранение. В этом варианте реализации способа осуществляется последовательная работа двойного каскада: на первом этапе полностью выполняется работа разделения первого каскада 8; затем первый каскад 8 перестраивается во второй каскад 13; на втором этапе разделительной работы завершается доработка продуктов на каскаде 13.

В варианте заявленного способа очистки в двойном каскаде по схеме, показанной на фиг. 5, на вход первого каскада 19 подается поток 20 питания, например, в виде переведенного в газовую фазу гексафторида природного урана с концентрацией ^{235}U , равной $0,711\%$, и поток 21 гексафторида урана загрязненного отвала с концентрацией ^{235}U $0,1 \div 0,4\%$. На выходе первого каскада 19 получают два потока: поток 22 отвала, аналогичный потоку 4 известного каскада 1, и поток 23 промежуточного отбора каскада 19. Поток 22 отвала с концентрацией ^{235}U $0,1 \div 0,3\%$ десублимируют, затаривают в контейнер 29 и направляют на хранение. Поток промежуточного (межкаскадного) отбора 23 десублимируют и затаривают в контейнер 32. После завершения работы первого каскада 19 из него формируют второй каскад 24 с соответствующими параметрами. Затем контейнер 31 подключают к входу второго каскада 24 и в виде потока 33 из переведенного в газовую фазу гексафторида урана промежуточного отбора, ранее полученного в первом каскаде 19, подают в каскад 24. На выходе каскада 24 получают поток 25 отвала, очищенный от вредных изотопов урана, и поток отбора 26 НОУ, аналогичный потоку 3 известного каскада 1.

Полученный в потоке 25 очищенный отвал с концентрацией ^{235}U , аналогичной концентрации ^{235}U в потоке 21 питания каскада 19, десублимируют и затаривают в контейнер 27 для последующего использования в качестве очищенного сырья в наработке НОУ и переработке ВОУ. Полученный из потока 26 в основном отборе каскада 24, настроенного на обогащение ^{235}U до заданной концентрации в диапазоне $2 \div 5\%$, НОУ десублимируют, затаривают в контейнер 28 и отправляют заказчику для изготовления ядерного топлива. В этом варианте реализации способа осуществляется последовательная работа двойного каскада: на первом этапе полностью выполняется работа разделения первого каскада 19; затем первый каскад 19 перестраивается во второй каскад 24; на втором этапе разделительной работы завершается доработка продуктов на каскаде 24. При использовании данной схемы на дополнительное питание второго каскада 24 может подаваться поток чистого гексафторида урана в виде потока 34.

Осуществимость заявленного способа очистки загрязненного отвала разделительного производства от вредных изотопов и достигаемый при осуществлении заявленного способа технический результат подтверждаются нижеприведенными примерами.

Пример 1. Нарботка НОУ с концентрацией ^{235}U $3,6\%$ в известном способе по схеме, показанной на фиг. 1.

В качестве примера «плановой» наработки НОУ выберем режим с подачей природного сырья (поток 2) в виде 100 т гексафторида урана с концентрацией ^{235}U , равной $0,711\%$, в ординарный каскад 1 (табл. 1). Содержание ^{234}U в природном сырье принято по верхнему пределу ASTM. Отборная концентрация ^{235}U (поток 3) задана $3,6\%$, отвала (поток 4) - $0,1\%$. Дополнительное питание (поток 5) отсутствует.

Таблица 1

Параметры ординарного каскада 1 при получении НОУ $3,6\%$ ^{235}U

Параметры	Питание (поток 2)	Отбор (НОУ) (поток 3)	Отвал (поток 4)
Количество UF_6 , т	100,000	17,457	82,543
^{235}U , %	0,711	3,6	0,1
^{234}U , %	0,0058	0,03206	0,000246
Работа разделения, тыс. ЕРР	91,493		

Полученный отбор НОУ с концентрацией ^{235}U 3,6% характеризуется типичным «запасом» по нормам ASTM для ^{234}U - 0,032% по сравнению с 0,036%.

Пример 2. Очистка загрязненного отвала от U-234 и U-236 по схеме, показанной на фиг. 2.

В табл. 2 и 3 даны параметры схемы очистки, показанной на фиг. 2, рассчитанной из условия обеспечения «плановой» наработки НОУ (поток 17) и очистки 20 т отвального загрязненного гексафторида урана (поток 10) с содержанием ^{235}U 0,38%. Концентрация ^{234}U в нем принята равной типичному значению - 0,00196%, а концентрация ^{236}U взята по верхнему пределу - 0,0075%.

Таблица 2

Параметры каскада 8 схемы на фиг.2 очистки загрязненного сырья с концентрацией 0,38 % ^{235}U

Параметры	Основ. питание (поток 9)	Доп. питание (поток 10)	Отбор НОУ (поток 17)	Отвал (поток 12)
Кол-во UF_6 , т	100,000	20,000	17,457	102,543
^{235}U , %	0,711	0,38	3,6	0,1546
^{234}U , %	0,0058	0,00196	0,03253	0,000501
^{236}U , %	0	0,0075	0,003297	0,000901
Работа разделения, тыс. ЕРР	79,292			

Таблица 3

Параметры каскада 13 схемы на фиг.2 очистки загрязненного сырья с концентрацией 0,38 % ^{235}U

Параметры	Питание (поток 12)	Отбор очищенного сырья (поток 14)	Отвал (поток 15)
Количество UF_6 , т	102,543	20,000	82,543
^{235}U , %	0,1546	0,38	0,1
^{234}U , %	0,000501	0,001494	0,000260
^{236}U , %	0,000901	0,001733	0,000700
Работа разделения, тыс. ЕРР	12,201		

Содержание ^{234}U в очищенном сырье получилось заметно меньше, чем в исходном загрязненном сырье - 0,00149% по сравнению с 0,00196%. То же касается и концентрации ^{236}U - 0,00173% вместо 0,0075%. По сравнению с базовым вариантом в НОУ концентрация ^{234}U несколько увеличилась - с 0,0321 до 0,0325%, и появился ^{236}U . Однако его содержание допустимо и на порядок меньше, чем по ASTM - 0,003% по сравнению с 0,025%.

Таким образом, очистка загрязненного сырья для разделительного производства в приведенном примере 2 по заявленному способу выполнена без затраты работы разделения и осуществлена в процессе плановой наработки НОУ.

Пример 3. Очистка загрязненного сырья от U-234 и U-236 по схеме на фиг. 3.

В табл. 4 и 5 приведены результаты расчета схемы очистки, показанной на фиг. 3 при таких же исходных данных, как в рассмотренной схеме, показанной на фиг. 2 (табл. 2, 3). При одинаковых суммарных затратах работы разделения концентрации ^{234}U и ^{236}U в очищенном отвале с ^{235}U 0,38% получились несколько ниже, чем в схеме, показанной на фиг. 2. Это объясняется большим проникновением ^{234}U и ^{236}U в НОУ и отвал.

Таблица 4

Параметры каскада 19 схемы на фиг.3 очистки загрязненного сырья с концентрацией $0,38\% \text{ }^{235}\text{U}$

Параметры	Основ. питание (поток 20)	Доп. питание (поток 21)	Отбор (поток 23)	Отвал (поток 22)
Количество UF_6 , т	100,000	20,000	37,457	82,543
^{235}U , %	0,711	0,38	1,881	0,1
^{234}U , %	0,0058	0,00196	0,01596	0,000261
^{236}U , %	0	0,0075	0,002244	0,000799
Работа разделения, тыс. ЕРР	77,135			

Таблица 5

Параметры каскада 24 схемы на фиг.3 очистки загрязненного сырья с концентрацией $0,38\% \text{ }^{235}\text{U}$

Параметры	Питание (поток 23)	Отбор НОУ (поток 26)	Отбор очищенного сырья (поток 25)
Количество UF_6 , т	37,457	17,457	20,000
^{235}U , %	1,881	3,6	0,38
^{234}U , %	0,01596	0,03266	0,001376
^{236}U , %	0,002244	0,003758	0,000922
Работа разделения, Тыс. ЕРР	14,358		

Улучшение качества очистки по ^{236}U в сравнении со схемой на фиг. 2 позволяет производить из очищенного отвала не только НОУ, но и качественный разбавитель для ВОУ.

Таким образом, очистка загрязненного сырья для разделительного производства в приведенном примере 3 по заявленному способу выполнена без затраты работы разделения и осуществлена в процессе плановой наработки НОУ.

Для вариантов осуществления способа в схемах каскадов, показанных на фиг. 4 и фиг. 5, действительны приведенные выше примеры реализации способа. Дополнительные затраты в этих вариантах возникнут только на перестройку одного каскада из первого каскада во второй каскад. При соответствующей схеме одного каскада затраты на его перестройку незначительны по сравнению с выигрышем в работе разделения на очистку сырья.

Пример 4. Очистка загрязненных отвалов от U-234 по схеме на фиг. 5.

Очистку отвалов можно проводить при совмещении с различными «плановыми» режимами наработки НОУ, например, с концентрацией ^{235}U 3,6%. В таблице 6 приведены параметры такой наработки НОУ, выбранной в качестве варианта примера для совмещения с очисткой отвала. «Плановый» режим характеризуется получением НОУ по схеме, показанной на фиг. 1, из природного сырья (поток 2) 100 т UF_6 с 0,711% ^{235}U . Содержание ^{234}U в природном сырье принято по верхнему пределу ASTM. Отборная концентрация ^{235}U задана 3,6% (поток 3), отвала - 0,2% (поток 4). Дополнительное питание (поток 5) отсутствует.

Таблица 6

Параметры одинарного каскада 1 при получении НОУ 3,6 % ^{235}U

Параметры	Питание (поток 2)	Отбор (НОУ) (поток 3)	Отвал (поток 4)
Количество UF_6 , т	100,000	15,029	84,971
^{235}U , %	0,711	3,6	0,2
^{234}U , %	0,0058	0,034357	0,000749
Работа разделения, тыс. ЕРР	57,290		

Полученный отбор НОУ с концентрацией ^{235}U 3,6% характеризуется типичным «запасом» по нормам ASTM для ^{234}U - 0,03436% по сравнению с 0,036%.

В табл. 7 и 8 показаны параметры двух каскадов 19 и 24 по схеме, показанной на фиг. 5, рассчитанных из условия обеспечения той же самой «плановой» наработки НОУ и одновременной очистки 48,638 т отвального гексафторида урана с содержанием ^{235}U 0,32%.

Таблица 7

Параметры каскада 19 схемы на фиг.3 очистки загрязненного сырья с концентрацией 0,32 % ^{235}U

Параметры	Основ. Питание (поток 20)	Доп. питание (поток 21)	Отбор (поток 23)	Отвал (поток 22)
Количество UF_6 , т	89,999	43,774	48,802	84,971
^{235}U , %	0,711	0,32	1,25	0,2
^{234}U , %	0,0058	0,00148	0,010647	0,000791
Работа разделения, тыс.ЕРР	30,947			

Таблица 8

Параметры каскада 24 схемы на фиг.5 очистки загрязненного сырья с концентрацией 0,32 % ^{235}U

Параметры	Доп. питание (поток 34)	Питание (поток 33)	Отбор НОУ (поток 26)	Отбор очищенного сырья (поток 25)
Количество UF_6 , т	10,001	48,802	15,029	43,774
^{235}U , %	0,711	1,25	3,6	0,32
^{234}U , %	0,0058	0,010647	0,034400	0,001384
Работа разделения, тыс.ЕРР	26,343			

Эффективная работа разделения каскадов 19 и 24 соответствуют «плановой» наработке НОУ - 57,290 тыс. ЕРР. В результате очистки содержание ^{234}U в отвале 0,32% ^{235}U снижается до 0,001384% (в исходном отвале 0,00148%). Это происходит за счет небольшого увеличения ^{234}U в НОУ - 0,03440% (вместо 0,03436% при отдельной наработке НОУ в каскаде 1) и его возрастания в отвале - 0,000791% (вместо 0,000749% в каскаде 1).

Применение рассмотренных схем очистки имеет высокую эффективность. С их помощью можно расширить сырьевую базу гексафторида урана:

- за счет очистки загрязненных отвалов по ^{236}U , и сократить затраты работы разделения на наработку разбавителя для ВОУ;
- за счет улучшения качества отвалов по ^{234}U . Кроме того, можно производить очистку грязного природного сырья, в котором содержание ^{234}U превышает нормы ASTM.

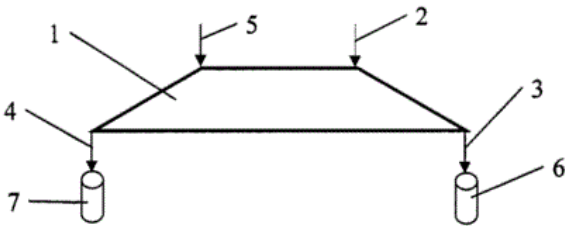
Понятно, что изобретение не ограничивается приведенными примерами. Возможны и другие варианты примеров в пределах объема предложенной формулы изобретения.

Формула изобретения

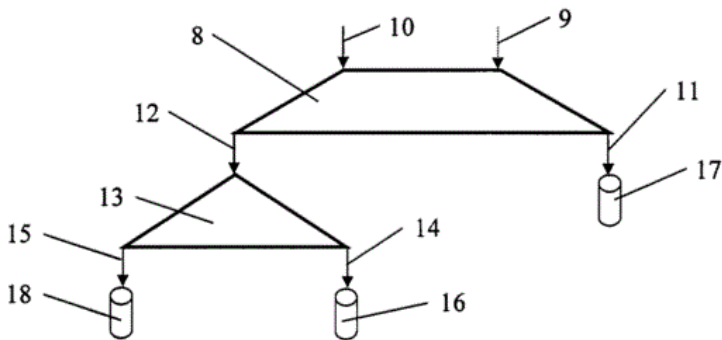
1. Способ очистки загрязненного сырья для разделительного производства от вредных изотопов, заключающийся в снижении концентрации изотопов ^{232}U , ^{234}U , ^{236}U путем переработки гексафторида урана загрязненного сырья в двойном каскаде газовых центрифуг, отличающийся тем, что гексафторид урана загрязненного сырья перерабатывают в двойном каскаде газовых центрифуг, предназначенных для получения низкообогащенного гексафторида ^{235}U из чистого гексафторида урана, подаваемого на основное питание первого каскада, загрязненное сырье подают на дополнительное питание первого каскада, а очищенное сырье отбирают из первого или второго каскада.
2. Способ очистки по п. 1, отличающийся тем, что чистый гексафторид урана подают на дополнительное питание второго каскада.
3. Способ очистки по п. 1, отличающийся тем, что питание второго каскада выполняют после десублимации отвала или отбора первого каскада.
4. Способ очистки по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид природного урана.
5. Способ очистки по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид урана отвала разделительного производства, полученный при обогащении природного урана.
6. Способ очистки по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что в качестве чистого гексафторида урана используют гексафторид урана, полученный обогащением отвалов разделительного производства, полученных при обогащении природного урана.

1

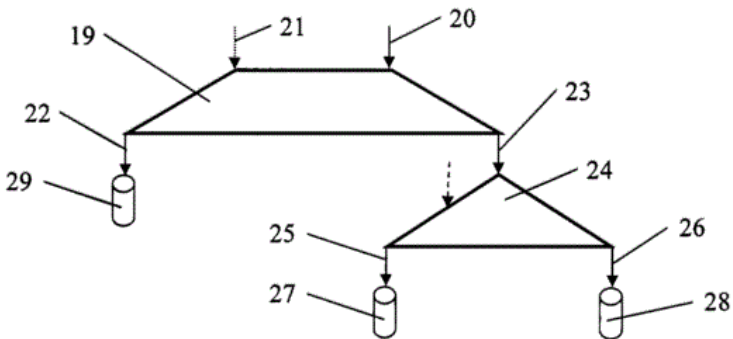
Способ очистки
загрязненного сырья



Фиг.1



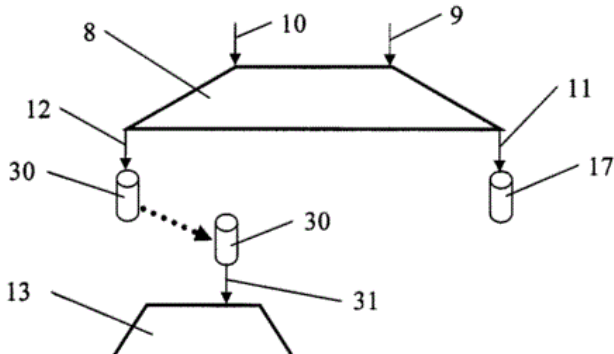
Фиг.2

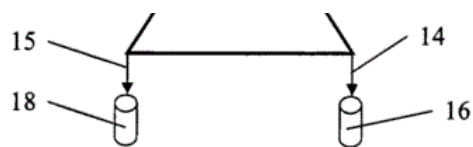


Фиг.3

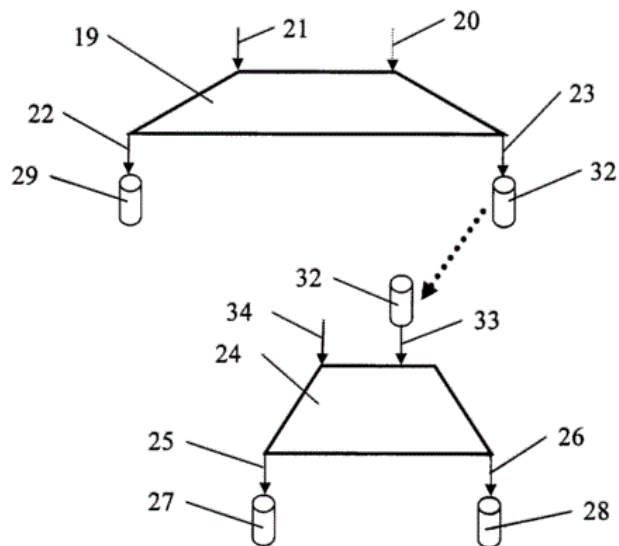
2

Способ очистки
загрязненного сырья





Фиг.4



Фиг.5

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **13.01.2018**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **07.11.2018**

Дата публикации и номер бюллетеня: [07.11.2018](#) Бюл. №31